

補助事業番号 2019M-181

補助事業名 2019年度 自然対流利用型伝熱機器の高性能化を実現するバブルインジェクション技術の構築 補助事業

補助事業者名 京都工芸繊維大学 北川石英

1 研究の概要

本事業では、バブルインジェクション(気泡注入)を利用した伝熱促進技術の構築を目的とし、鉛直平行平板間自然対流気液二相流を対象とした気泡挙動の可視化実験、温度・速度同時計測、およびマルチスケール解析を行った。特に、壁面熱流束・平行平板間距離(加熱平板・非加熱板間距離)と熱流動特性との関係を調査した。その結果、バブルインジェクションを利用することにより、全ての実験条件に対して自然対流熱伝達が著しく促進することがわかった。また、注入気泡群が誘起する流れと伝熱促進との相関関係を明らかにすることができた。

2 研究の目的と背景

作動流体が液体の場合の自然対流は、電気温水器・太陽熱温水器をはじめとする家庭用温水システムや、液浸冷却コンピュータ・小型原子炉の冷却システムなど、多くの伝熱機器にて活発に利用されている。特に、最近では、消費電力の大幅な低減を図るため、液浸冷却コンピュータの開発が精力的に進められている。ここで、伝熱機器内で生じる自然対流熱伝達(熱交換)を大幅に促進させる技術を構築できれば、自然対流を利用した伝熱機器の高性能化が実現できる。近年、地球環境問題の解決が世界的に強く望まれていることから、自然対流利用型伝熱機器の高性能化は喫緊の重要課題であると言える。

本事業では、自然対流を利用した全ての伝熱機器の性能を局限まで高めることを念頭に置き、伝熱面における自然対流熱伝達の大幅な促進を可能とするバブルインジェクション技術を構築することを目的としている。この目的を達成するため、鉛直平行平板間自然対流気液二相流を対象とした熱流動計測を実施し、気泡注入時の伝熱面近傍に生じる複雑な熱流動現象を解明する。

3 研究内容

(1)鉛直平行平板間自然対流気液二相流の熱伝達特性(<http://www.cis.kit.ac.jp/~kitagawa/kitagawa.html>)

鉛直平行平板間における自然対流気液二相流場の熱伝達特性を明らかにするため、温度計測を行った。実験装置は図1に示される。伝熱板表面温度 T_w と伝熱板遠方での液体温度 T_∞ の計測には、K型熱電対、氷冷式基準接点および高速データアキュイジションユニットを用いた。サンプリング周波数を5 Hz、温度計測時間を540秒間とし、各温度には、510~540秒間の平均値を用いた。熱伝達率 h_x は $h_x = q_w / (T_w - T_\infty)$ として算出された。ここで、 q_w は壁面熱流束である。

各熱流束に対する熱伝達率比の結果を図2に示す。図中の $h_{x,TPF}$ 、 $h_{x,SPF}$ は気泡注入時・非注入時の熱伝達率であり、 L は平行平板間距離(加熱板・非加熱板間距離)である。なお、熱伝達率は $x = 70 \sim 370$ mmの範囲の平均値とした($x = 0$:加熱開始点)。図から、全ての計測条件に対して、

熱伝達率の比が2.9以上となることがわかる。特に、その最大値は4.4にも達する。このため、伝熱板前方における非加熱板の存在は自然対流気液二相流の顕著な伝熱促進をもたらすと言える。また、いずれの熱流束に対して、 $L=20$ mmの場合の熱伝達率比が最も高くなる。

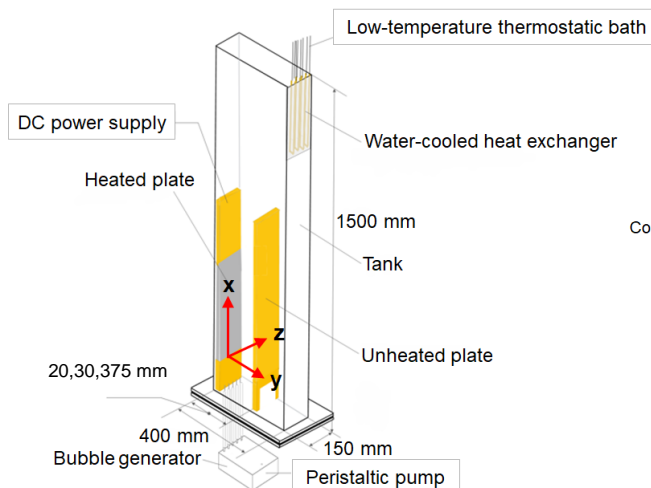


図1 実験装置の概略図

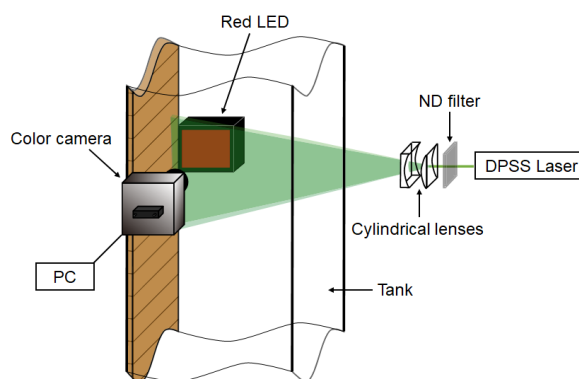


図2 速度計測システムの概略図

(2) 鉛直平行平板間自然対流気液二相流の流動特性(<http://www.cis.kit.ac.jp/~kitagawa/kitagawa.html>)

鉛直平行平板間における自然対流気液二相流場の流動特性を明らかにするため、図3に示される計測システムを利用して速度計測を行った。液体速度算出には、PTV(粒子追跡速度計測法)を用いた。液体トレーサーとして使用した多孔質粒子の平均粒径および比重はそれぞれ、60 mmおよび1.02であった。カラー画像を分解して得られる緑色画像を液体速度算出に用いた。取得画像に対して、粒子マスク相関法を用いて粒子重心位置を算出し、その後、3時刻追跡法を用いて個々の粒子の速度ベクトルを算出した。

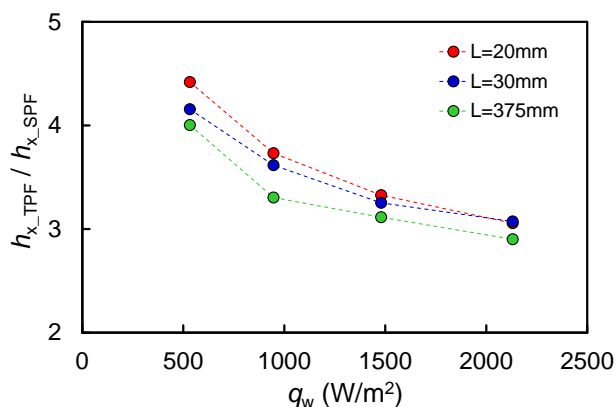


図3 熱伝達率比

$q_w=1480$ W/m²の条件での液体上昇速度およびレイノルズ応力の分布を図4および図5に示す。図4より、 $L=20$ mmの場合での液体上昇速度が最も高くなり、図5より、 $L=30$ mmの場合でのレイノルズ応力のピーク位置が伝熱面に最も接近することがわかる。図3で示された熱伝達率比の結

果を踏まえると、非加熱板の伝熱面への接近に伴う伝熱促進は、気泡の揺動運動・気泡界面からの渦放出・上昇流誘起型大スケール非定常渦による混合効果よりも、気泡群の液体連行に伴う移流効果の寄与が大きいと考えられる。

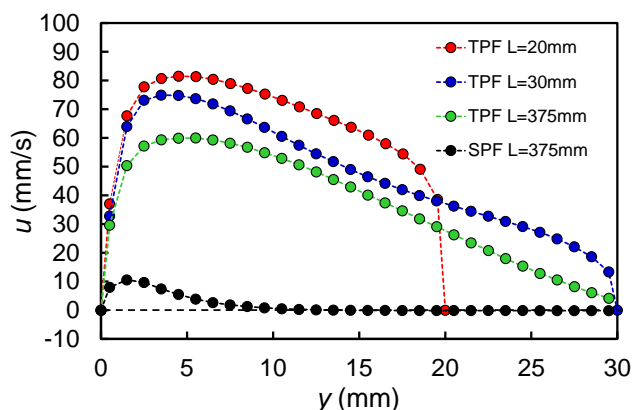


図4 液体上昇速度

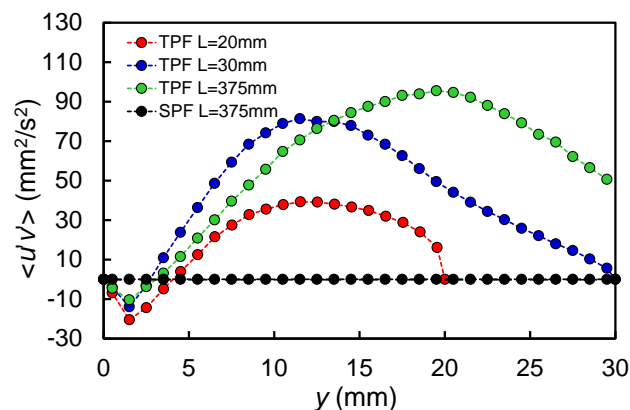


図5 レイノルズ応力

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業により構築される「伝熱促進技術」は自然対流を利用した伝熱機器への適用だけでなく、共存対流を利用した伝熱機器、そして比較的低レイノルズ数の条件では強制対流を利用した伝熱機器への応用も期待される。また、構築される「計測システム」は、気液二相流を利用した多くの装置の性能向上のための有益な計測ツールとして幅広い分野で活用できる。さらに、学術的には、取得される「計測データ」を利用することにより、気液二相流に関する数理モデルおよび数値計算手法の開発に貢献することができる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

伝熱機器内で生じる自然対流熱伝達を大幅に促進させる技術を構築できれば、自然対流を利用した伝熱機器の高性能化が実現できる。これは、地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの削減に直結することから、地球環境問題の早期解決に大いに貢献できる。申請者は伝熱工学・流体工学・混相流工学を専門として、これまでに伝熱促進・気液二相流関連の研究に深く携わっており、その知識と経験を駆使することで新たな伝熱促進技術を構築できると判断し、本研究を実施した。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Atsuhide Kitagawa, Reona Kobayashi, Velocity and temperature measurements in natural convection bubbly flow between vertical parallel plates, Proc. 31th International Symposium on Transport Phenomena, 1-5. (2020)

7 補助事業に係る成果物

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 京都工芸繊維大学(キョウトコウゲイセンイダイガク)

住 所： 〒606-8585

京都市左京区松ヶ崎御所海道町

担 当 者： 准教授 北川石英(キタガワアツヒデ)

担 当 部 署： 機械工学系(キカイコウガクケイ)

E - m a i l : kitagawa@kit.ac.jp

U R L : <http://www.cis.kit.ac.jp/~kitagawa/>